

К. А. Бадеха*^{1,2}, Г. А. Яковлев¹

¹Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

²Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН), г. Москва

*ksenia_uimina@mail.ru

Научный руководитель — проф., канд. техн. наук В. И. Гроховский

ВЛИЯНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА СТРУКТУРУ Fe–Ni СПЛАВОВ В ЖЕЛЕЗНЫХ МЕТЕОРИТАХ IVB ГРУППЫ

В работе исследовалась структура плессита вблизи неметаллических включений в образцах метеоритов (15–18 вес. % Ni): Чинге, Iquique, Hoba, Cape of Good Hope, Gebel Kamil, Tawallah Valley. Для изучения кристаллографических закономерностей в плессите был применен метод EBSD, реализованный на растровом электронном микроскопе ZEISS SIGMA VP.

Ключевые слова: метеориты IVB группы, плессит, структура, неметаллические включения, троилит, добреелит, хромит, фосфид, фазовые превращения, EBSD анализ.

K. A. Badekha, G. A. Yakovlev

THE INFLUENCE OF NONMETALLIC INCLUSIONS ON THE Fe–Ni ALLOY STRUCTURE IN IVB IRON METEORITES

The work is devoted to the research of plessite microstructure near non-metal inclusions in high-Ni meteorites (15–18 wt. % Ni): Chinga, Iquique, Hoba, Cape of Good Hope, Gebel Kamil, Tawallah Valley. EBSD method was applied to reveal crystallographic orientations in plessite. It was realized on ZEISS SIGMA VP electron microscope.

Key words: IVB group meteorites, plessite, structure, nonmetallic inclusions, troilite, daubréelite, chromite, phosphide, phase-transformations, EBSD-analysis.

Группа высоконикелевых (15–18 вес. % Ni) железных метеоритов отличается ярко выраженной структурой плессита, состоящей в основном из смеси субмикроскопических ОЦК- и ГЦК-фаз Fe (Ni). Лишь изредка встречаются мелкие 15×100 мкм балки α -Fe (Ni). При травлении полированных шлифов представителей этой группы выявляются параллельные полосы шириной 1–10 см, обладающие селек-

тивным отражением (ПСО) и различимые невооруженным глазом [1, 2]. Области ПСО образованы мелкодисперсной направленной структурой плессита, которая создает контраст в отраженном свете и наиболее ярко наблюдается в поляризованном освещении. Нами это явление наблюдалось в ряде образцов метеоритов: Чинге (16,58 % Ni, 0,55 % Co, 0,05 % P), Iquique (15,7 % Ni, 0,74 % Co, 0,05 % P), Hoba (16,4 Ni, 0,79 % Co, 0,05 % P), Cape of Good Hope (16,5 % Ni, 0,76 % Co, 0,07 % P), Gebel Kamil (20,7 % Ni, 0,75 % Co, 0,14 % P), Tawallah Valley (18,4 % Ni, 0,80 % Co, 0,22 % P).

Кроме того, при рассмотрении невооруженным глазом и в оптический микроскоп метеоритов Hoba и Gebel Kamil была замечена видманштеттовская структура плессита вблизи крупных включений троилита FeS -добреелита FeCr_2S_4 (рис. 1), хромита FeCr_2O_4 , фосфида $(\text{FeNi})_3\text{P}$. Двухфазные неметаллические включения троилита-добреелита прямоугольной формы также встречаются и в метеоритах Iquique [2], Чинге [3], Cape of Good Hope, однако грубой структуры видманштеттового плессита вокруг них не наблюдается.

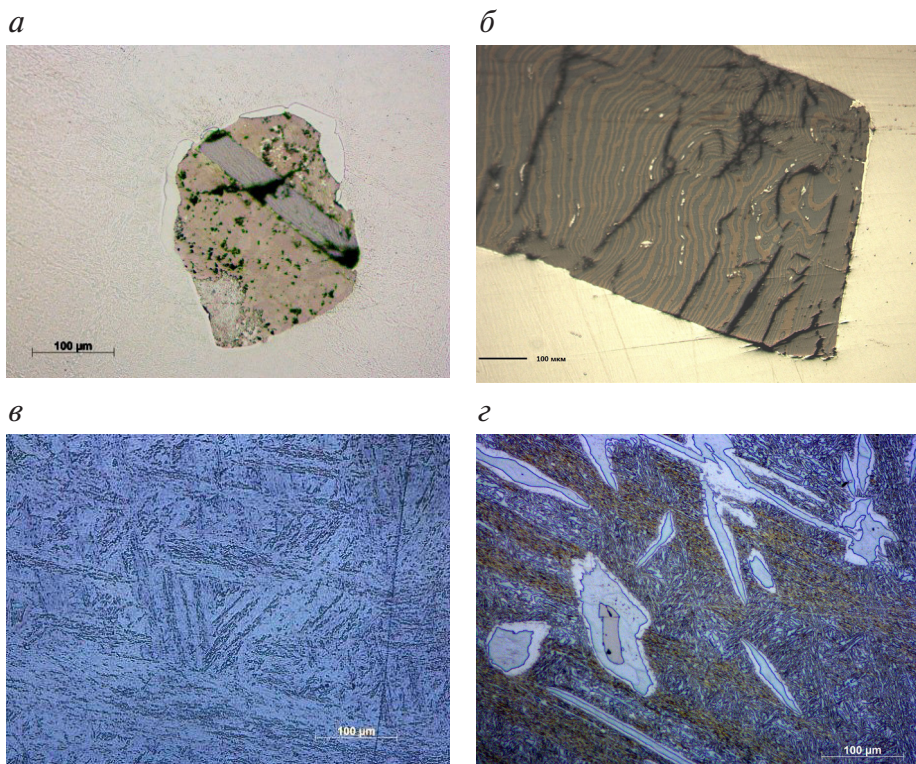


Рис. 1. Структура плессита вблизи крупных неметаллических включений:

- a* — включение троилита-добреелита в метеорите Hoba; *б* — включение Cape of Good Hope;
- в* — структура плессита вблизи включения троилита-добреелита в метеорите Hoba;
- г* — структура Gebel Kamil вблизи крупного включения троилита

Сульфидные включения размером 0,1–3 мм встречаются с частотой 1 на 25 см², подобные результаты даны и в работе [2]. Как правило, включение содержит около 30 % добреелита в виде параллельных полос по 3–30 мкм. Из-за пластической деформации часто добреелитовые ламели раздроблены, а троилит рекристаллизован в блоки по 2–25 мкм.

EBSD-анализ ориентации кристаллов α - и γ -фаз в области видманштеттового плессита в Ноба показал, что ориентация кристаллов такая же, как и в плессите в ПСО [1] (рис. 2).

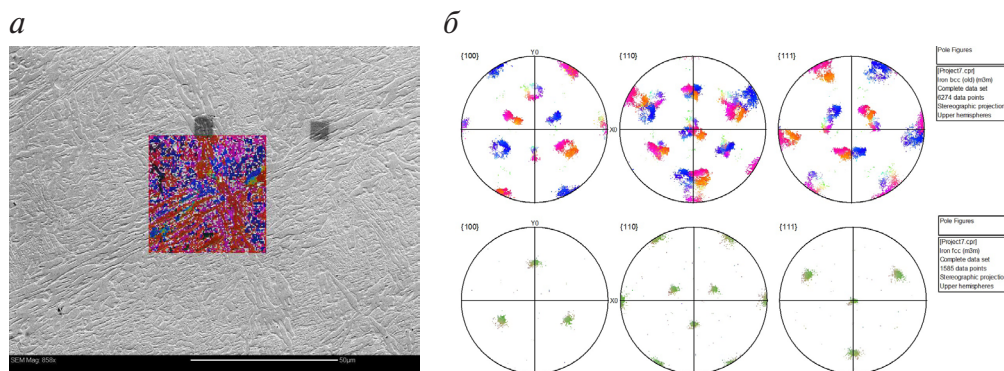


Рис. 2. Анализ методом EBSD участка видманштеттового плессита вокруг включения троилит-добреелит в метеорите Ноба:

a — снимок в отраженных электронах области сканирования с наложением карты ориентации ОЦК-фазы; *б* — ППФ для ОЦК-фазы и ГЦК-фазы

Структуры видманштеттового плессита располагаются, как правило, вблизи крупных неметаллических включений, которые расположены как в «светлой», так и «темной» ПСО. Однако видимых искажений в макрокартину ПСО эти структуры не вносят.

Известно [4], что более высоконикелевые метеориты обладают и большим содержанием Р. Зародыши α -фазы в них встречаются чаще, а плессит становится более тонким и ориентированным (Tawallah Valley). В случае малого содержания Р (Cape of Good Hope, Ноба, Чинге) наблюдаются редкие зародыши α -фазы. Наличие ряда крупных включений фосфидов в метеорите Gebel Kamil объясняет распространенность веретен α -фазы, однако развитие видманштеттовой структуры плессита (рис. 1, *з*), вероятно, также связана и с распространенностью неметаллических включений троилита-добреелита и хромита.

В плессите метеорита Cape of Good Hope изредка появляются выделения α -фазы веретенообразной формы размером 30×300 мкм, окаймленные кольцами 3–5 мкм γ -фазы. Некоторые веретена имеют крошеч-

ные зародыши шрейберзита $(\text{FeNi})_3\text{P}$, другие — зародыши добреелита или троилита (рис. 3).

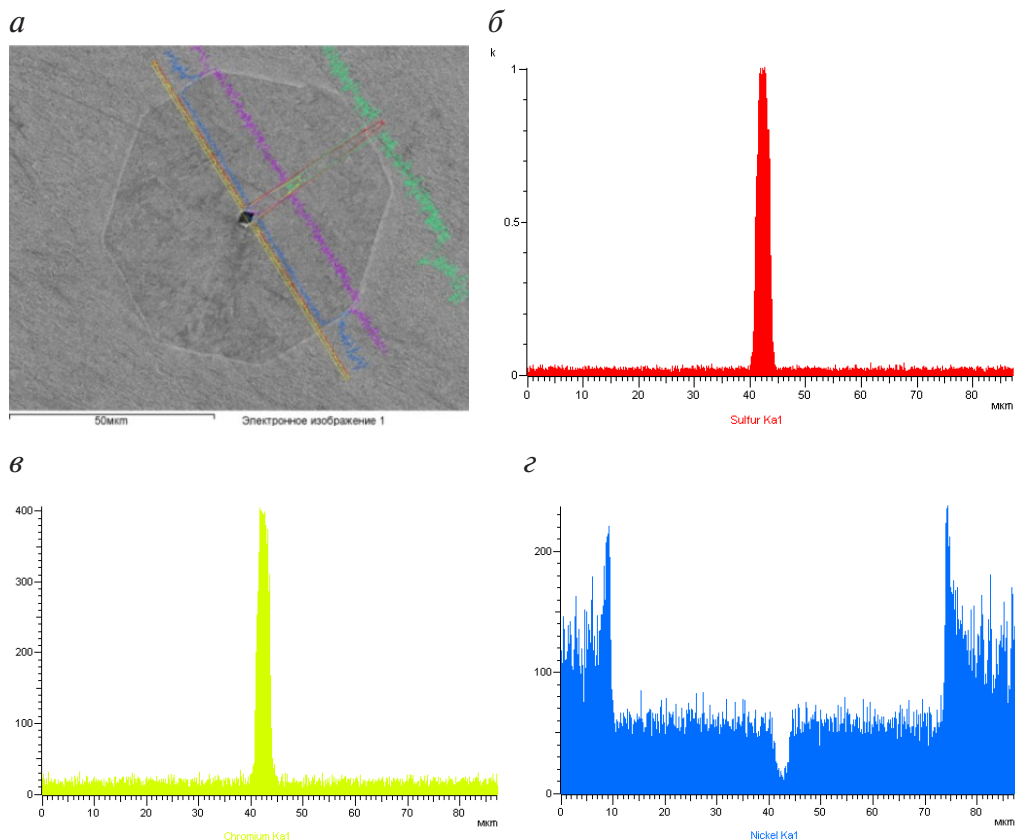


Рис. 3. EDS-анализ веретена α -фазы Fe (Ni) в метеорите Cape of Good Hope: *а* — ограненное веретено, зародившееся на включении троилита; *б* — профиль содержания S; *в* — профиль содержания Cr; *г* — профиль содержания Ni в зародыше α -фазы

Состав троилита, по данным EDS-исследования: S — 38 вес. %, Cr — 31 вес. %, Fe — 31 вес. %. Состав α -фазы: 92,5 вес. % Fe, 7,5 вес. % Ni. На графике распределения Ni хорошо виден градиент на периферии зерна α -фазы, который соответствует обогащенной Ni-кайме γ -фазы (29 вес. % Ni).

Таким образом, сульфидные и фосфидные неметаллические включения в высоконикелевых метеоритах являются местами предпочтительного зарождения α -Fe (Ni) при диффузионном $\gamma \rightarrow \alpha$ и способствуют получению грубой структуры плессита с видманштеттовой ориентацией сосуществующих фаз.

Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Природа полос селективного отражения в метеоритном сплаве Fe-17 вес. % Ni / Гроховский В. И. [и др.] // XIX Уральская школа металловедов-термистов «Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов» : сб. материалов. Екатеринбург, 2008. С. 24.
- 2 Buchwald V. F. On the Oriented Sheen in Ataxites // Meteoritics. 1981. Vol. 16. P. 298–299.
- 3 Buddha from space — An ancient object of art made of a Chinga iron meteorite fragment / Buchner E. [et al.] // Meteoritics & Planetary Science. 2012. Vol. 47. P. 1491–1501.
- 4 Goldstein J. I., Michael J. R. The formation of plessite in meteoritic metal // Meteoritics and Planetary Science. 2006. Vol. 41. № 4. P. 553–570.